
Научная статья

УДК 66.017

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-8-65-76

ПРОИЗВОДСТВО ГИДРОЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В РОССИИ (обзор)

Л.С. Седова¹, Е.В. Долгова¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Статья содержит сведения о гидрожидкостях, используемых в мире и российской авиации в настоящее время. Приведена краткая информация о гидравлических системах. Указаны сведения о зарубежных гидрожидкостях, таких как Skydrol™ и Hyjet™ и отечественных рабочих жидкостях марок НГЖ-5у, ЛЗ-МГ-2 и 7-50С-3, а также гидравлических маслах марок МГЕ-10А и АМГ-10. Указаны основные российские предприятия, занимавшиеся производством гидрожидкостей в течение последних 40 лет. Представлена информация по современным разработкам составов гидрожидкостей в РФ.

Ключевые слова: гидравлическая система, гидравлическая жидкость, самолет, рабочая жидкость НГЖ-5у, рабочая жидкость ЛЗ-МГ-2, рабочая жидкость 7-50С-3, гидравлическое масло МГЕ-10А, масло АМГ-10

Для цитирования: Седова Л.С., Долгова Е.В. Производство гидрожидкостей для авиационной техники в России (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 8 (114). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-8-65-76.

Scientific article

PRODUCTION OF HYDROLIQUIDS FOR AVIATION ENGINEERING IN RUSSIA (review)

L.S. Sedova¹, E.V. Dolgova¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The article contains information about hydraulic fluids used in the foreign and Russian aviation at the present time. Brief information about hydraulic systems is given. Information is provided on foreign hydraulic fluids such as Skydrol™ and Hyjet™ and domestic working fluids named NGZh-5u, LZ-MG-2, 7-50S-3 and hydraulic oils of the MGE-10A, AMG-10 brands. The main Russian enterprises engaged in the production of hydraulic fluids over the past 40 years are indicated. Information on modern developments of hydraulic fluid compositions in the Russian Federation is presented.

Keywords: hydraulic system, hydraulic fluid, aircraft, hydraulic fluid NGZh-5u, hydraulic fluid LZ-MG-2, hydraulic fluid 7-50C-3, hydraulic oil MGE-10A, oil AMG-10

For citation: Sedova L.S., Dolgova E.V. Production of hydroliquids for aviation engineering in Russia (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 8 (114), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-8-65-76.

Введение

Создание современных летательных аппаратов требует разработки новых материалов, а также проектирования узлов и агрегатов, позволяющих достичь высоких показателей летных характеристик [1–3]. В настоящее время в области самолетостроения применяются три основные системы дистанционного управления: электрическая, пневматическая и гидравлическая.

В данной статье рассмотрены гидравлические жидкости (гидрожидкости), применяемые на воздушных судах Российской Федерации, в качестве рабочих жидкостей в наиболее распространенной гидравлической системе управления (гидросистеме). Основным назначением таких систем является передача на расстояние мощности, необходимой для приведения в действие агрегата с помощью рабочего тела – гидрожидкости, которая является рабочей средой гидросистемы [4], например, для обеспечения работоспособности механизмов подъема и выпуска шасси, закрылков, люков, створок, а также управления узлами силовой установки, устройством гасителя колебаний, торможения колес и т. д.

Широкое использование гидравлики в летательных аппаратах обусловлено тем, что при небольших габаритах гидросистема обладает малой инерционностью и, как следствие, обеспечивает оперативное действие исполнительных механизмов. К недостаткам можно отнести относительно большую массу рабочего тела, трубопроводов и агрегатов, а также зависимость их работы от температуры окружающей среды, что во многом определяется типом используемой гидрожидкости. Помимо этого, в случае нарушения целостности трубопроводов и агрегатов теряется герметичность, что может привести к отказу гидравлической системы.

Характер управления гидроагрегатами, устойчивость эксплуатационных характеристик [5–8] и надежность работы системы в целом в большой степени зависят от свойств применяемой рабочей гидрожидкости. Агрегаты и системы-потребители расположены на самолете в различных частях конструкции, удаленных друг от друга. Для управления ими необходима гидросистема, разветвленная по всему воздушному судну, что, в свою очередь, не позволяет обеспечить единые температурные условия работы узлов при эксплуатации самолета. С учетом этого исследования и разработка гидрожидкостей всегда направлены на улучшение эксплуатационных характеристик гидроагрегатов.

Требования к гидравлическим жидкостям

Развитие и усовершенствование летательных аппаратов привело к расширению областей применения гидросистем и, как следствие, к увеличению перечня требований, предъявляемых к гидрожидкостям. Это в первую очередь касается основных характеристик гидрожидкостей, которые определяют длительную и безаварийную эксплуатацию гидросистемы в заданных условиях.

К наиболее значимым эксплуатационным характеристикам гидрожидкостей можно отнести малую плотность, высокую теплопроводность, гидролитическую устойчивость, термоокислительную стабильность, низкую коррозионную активность, а также хорошие вязкостные свойства в широком диапазоне температур. Вязкость гидрожидкости должна оставаться стабильной в процессе эксплуатации под действием механических и динамических нагрузок. Важна также способность гидрожидкости создавать смазочную пленку даже при малой вязкости.

Если учитывать температуры эксплуатации, то современные гидрожидкости должны быть пригодны к использованию в температурном диапазоне по меньшей мере от –54 до +135 °С, поскольку при данных температурах невозможно применение воды или смазочных масел на растительной основе.

Следует также отметить требования к взрывобезопасности гидрожидкостей. Гидрожидкость должна характеризоваться низким давлением насыщенных паров, высокими значениями температур кипения и самовоспламенения, а для выполнения требований по пожаробезопасности (при разгерметизации гидросистемы в аварийной ситуации) температура вспышки паров жидкости должна быть не менее 160 °С.

Помимо вышеперечисленного, гидрожидкости должны быть нетоксичными и иметь низкую стоимость.

При создании первых авиационных гидрожидкостей в качестве основы использовали растительные масла. В настоящее время наряду с материалами на масляной основе используют различные синтетические вещества, такие как α -полиолефины, эфиры кремниевой и фосфорной кислот, галоидированные углеводороды, сложные органические эфиры, полиорганосилоксаны, гликоли, водомасляные эмульсии, силаны и т. д.

Распространенные гидравлические жидкости, используемые за рубежом

Свойства гидравлических жидкостей, используемых в военных и пассажирских самолетах, зависят от задач конкретного применения и окружающей среды [9]. Далее приведены некоторые из них, применяемые в зарубежной авиации.

Гидравлическая жидкость MIL-H-5606 используется на многих самолетах более 50 лет – например, на некоторых самолетах военно-воздушных сил США и бизнес-джетах. Однако она легко воспламеняется, что, по-видимому, являлось причиной крушения военных самолетов в прошлом, поэтому в настоящее время использование этой жидкости ограничено.

Гидравлическая жидкость MIL-H-83282, используемая в самолетах с 1982 г., популярна в первую очередь в связи с тем, что она намного менее воспламеняема, чем жидкость MIL-H-5606. Однако она более вязкая при низких температурах – нижний предел эксплуатации всего –40 °С.

Гидравлическая жидкость MIL-H-87257, используемая в самолетах C135, E3 и U2, менее горюча, чем жидкость MIL-H-5606, и может сохранять текучесть при температуре до –54 °С, поэтому она стала более востребованной для применения в новых самолетах.

Производимая компанией Eastmen Aviation Solutions по технологии Skydrol™ жидкость на основе эфира фосфорной кислоты стала популярной в отрасли как первая огнестойкая гидравлическая жидкость.

Гидрожидкость Hujet™ производства компании ExxonMobil совместима со всеми гидравлическими жидкостями типов IV и V, эластомерами и другими материалами гидравлических систем.

Mobil Hujet V – огнестойкая гидравлическая жидкость на основе эфира фосфорной кислоты, одобренная для всех коммерческих авиационных систем с гидравлическим давлением 5000 PSI (34 МПа).

Помимо этого, гидравлические жидкости для авиации производятся фирмами Shell и NYCO [10].

Гидравлические жидкости в российской авиации

Развитие российской авиации привело к расширению областей применения гидросистем и, как следствие, к увеличению перечня требований, предъявляемых к гидрожидкостям. Так, повышение температур эксплуатации узлов и агрегатов воздушных судов потребовало увеличения температур самовоспламенения и вспышки рабочего тела гидросистемы. Большое внимание стало уделяться термоокислительной стабильности, коррозионной активности и т. д.

В настоящее время в гидросистемах российских самолетов в качестве рабочих жидкостей широко применяются отечественные гидрожидкости типа 7-50С-3 и масло АМГ-10 [11], а также зарубежные жидкости марок Skydrol LD-4, Skydrol 500В-4, HyJet-IV-A^{plus} и Nycolube 934. Сопоставление российских разработок с импортными аналогами представлено в табл. 1.

Таблица 1

Российские гидрожидкости и их зарубежные аналоги [12]

Отечественные гидрожидкости (ГОСТ, ТУ)	Зарубежные гидрожидкости		
	Торговая марка	Спецификация	Фирма-производитель
7-50С-3 (ГОСТ 20734–75)	NYCOLUBE 934	CG 94-0120	NYCO (Франция)
АМГ-10 (ГОСТ 6794–2017)	AeroShell Fluid 41 Mobil Aero HF Hydrauncoil FH 51 ROYCO 756	MIL-PRF-5606-H	Shell (Германия) ExxonMobil (США) NYCO (Франция) Royal Lubricants (США)
МГЕ-10А (ТУ 38.401-58-337–2003)	Hydrauncoil FH 16	–	NYCO (Франция)
НГЖ-5у (ТУ 38.401-58-57–93)	HyJet-IV-A ^{plus} Skydrol 500В-4 Skydrol LD-4	SAE AS 1241	ExxonMobil (США) Solutia (США) Solutia(США)
ЛЗ-МГ-2 (ТУ 38.401-58-336–2003)	Аналоги не указаны	–	–

На воздушных судах также применяется гидравлическое масло МГЕ-10А с высокой рабочей температурой, которое представляет собой загущенную нефтяную основу с антиокислительной и противоизносной присадками. Масло МГЕ-10А предназначено в качестве рабочей жидкости для гидравлических устройств, работающих в интервале температур от –55 до +100 °С.

В 1993 г. во ВНИИ НП совместно с ВИАМ была разработана негорючая гидрожидкость НГЖ-5у с температурой самовоспламенения >590 °С и температурой вспышки в открытом тигле >155 °С. Температурный интервал использования жидкости находился в пределах от –60 до +125 °С с перегревами до 150 °С. По своей природе жидкость представляла собой смесь эфиров фосфорной кислоты с присадками, улучшающими вязкостные, антигидролизные, антиокислительные, антикоррозионные и антиэрозионные свойства. В настоящее время ПАО «НК Роснефть» – МЗ «Нефтепродукт» (г. Москва) прекратил выпуск данной жидкости из-за перехода отечественных воздушных судов на зарубежные аналоги Skydrol LD-4 и HyJet-IV-A^{plus}.

В перечне применяемых в российской авиации гидрожидкостей присутствовала жидкость для узкой области применения – рабочая жидкость ЛЗ-МГ-2 (поставлялась по ТУ 38.101328–81 Ленинградским ОНМЗ им. Шаумяна), представлявшая собой смесь из нефтяной фракции, загустителя и ингибитора окисления. Температура самовоспламенения этой жидкости – более 250 °С, а температура вспышки в открытом тигле – более 92 °С. Жидкость предназначалась для использования при температурах от –60 до +125 °С в контакте с воздухом или азотом, с непродолжительными перегревами до 150 °С в контакте с азотом.

В данной статье будет более подробно рассмотрена история разработки двух гидрожидкостей российского производства – рабочей жидкости 7-50С-3 и масла АМГ-10, поскольку их применение на территории РФ наиболее распространено. В статье также представлена информация, основанная на результатах исследований

и испытаний, выполненных коллективом рабочей группы ВИАМ, разрабатывающей состава гидрожидкостей и начавшей свою деятельность под руководством Л.В. Горнец.

Рабочая жидкость 7-50С-3

Рабочая жидкость 7-50С-3 представляет собой смесь полисилоксановой жидкости и органического эфира с добавками противоизносной присадки и ингибиторов окисления. Основные физико-химические характеристики рабочей жидкости 7-50С-3 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные физико-химические характеристики рабочей жидкости 7-50С-3 [13]

Свойства	Значения свойств
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,93–0,94
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре, °С: 200 (не менее) 20 (не менее) –60 (не более)	1,3 22,0 4200
Температура застывания, °С (не более)	–70
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С (не менее)	200
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла (не более)	0,1
Содержание воды	Отсутствие
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие
Массовая доля механических примесей, % (не более)	0,002
Термоокислительная стабильность и коррозионная активность при температуре 200 °С в течение 30 ч на пластинках из стали 30ХГСА, дюралю Д16-АТВ, бронзы БрАЖ 9/4: – вязкость кинематическая после термоокисления, мм ² /с (не более), при температуре, °С: 200 20 –60 – кислотное число после термоокисления, мг КОН на 1 г масла (не более) – весовой показатель коррозии, мг/см ² поверхности каждого металла (не более)	1,5 26,0 4500 0,8 ±0,1
Трибологические характеристики на четырехшариковой машине трения: диаметр пятна износа (D _и) при осевой нагрузке 196 Н и температуре 20±5 °С в течение 1 ч, мм (не более)	0,7

Жидкость 7-50С-3 является высокотемпературной – температурный интервал ее эксплуатации составляет от –60 до +200 °С [13]. Отработка ее состава и технологии велась на предприятии ГОСНИИ ГА с 1960 г. В 1976 г. Министерством химической и нефтеперерабатывающей промышленности СССР введен ГОСТ 20734–75 с изменениями 1–6, действующий и в настоящее время. Производство организовано на Московском нефтемаслозаводе.

Однако после разработки финального состава жидкости 7-50С-3 в связи со сложностями, связанными с доступностью сырьевой базы, выполнена отработка возможности использования компонентов различных производителей в составе гидрожидкости. В 1976 г. разработана новая технология получения диоктилсебацата (ДОС). На Московском нефтемаслозаводе изготовлена опытная партия жидкости 7-50С-3 с использованием термостабильного ДОС, однако опытный образец жидкости не соответствовал квалификационным нормам.

В 1978 г. изготовлена опытная партия гидрожидкости 7-50С-3 с использованием в качестве исходного сырья жидкости № 7 (ГОСТ 25149–82). Опытная партия этой жидкости также не соответствовала квалификационным нормам.

В 1979 г. изготовлена опытная партия гидрожидкости 7-50С-3 с использованием жидкости № 7 с вязкостью 1400 мм²/с при температуре –60 °С. Эта опытная партия соответствовала нормам ГОСТ 20734–75 и по результатам квалификационных испытаний была допущена к применению наравне с уже имеющейся на рынке жидкостью, поставляемой по МРТУ 38-1-195–66 [14].

В 1996 г. с целью перехода на отечественное сырье проведены квалификационные испытания жидкости 7-50С-3, изготовленной с использованием жидкости № 7, полученной на Славгородском химическом заводе ПО «Алтайхимпром», взамен жидкости № 7 производства завода «Кремнийполимер» (г. Запорожье, Украина). Новая жидкость 7-50С-3 выдержала квалификационные испытания.

В 1997 г. изготовлен опытный образец жидкости 7-50С-3 с применением ДОС производства Кусковского завода (г. Москва). Опытный образец жидкости 7-50С-3 не соответствовал квалификационным нормам.

С 1999 г. ЗАО «АвиаТехМас-НН» начал выпуск серийных партий жидкости 7-50С-3 по ГОСТ 20734–75 на своих промышленных площадях, ранее жидкость 7-50С-3 изготавливалась только на АО «МНМЗ».

В 2001 г. проведены квалификационные испытания опытного образца рабочей жидкости 7-50С-3 производства АО «МНМЗ» с использованием термостабильного ДОС, который производился на Кусковском заводе (г. Москва), взамен ДОС производства Новосибирского химзавода. Результаты всех испытаний были положительными.

В 2003 г. на ЗАО «СовХимТех» (г. Нижний Новгород) организован выпуск опытно-промышленной партии жидкости 7-50С-3, соответствующей квалификационным нормам.

В настоящее время список предприятий, имеющих допуск к производству рабочей жидкости 7-50С-3 по ГОСТ 20734–75, включает: АО «НПЦ Спецнефтьпродукт», ООО «Пластнефтехим», ЗАО «Современные химические технологии» (ЗАО «Совхимтех»), ООО «Обнинскорг-синтез», ООО «Новочеркасский завод смазочных материалов» [11].

Масло АМГ-10

Масло АМГ-10 представляет собой базовую смесь глубокодеароматизированной низкозастывающей фракции, получаемой из продуктов гидрокрекинга смеси парафинистых нефтей и состоящей из нафтеновых и изопарафиновых углеводородов, загущающей, антиокислительной, противоизносной присадок и красителя [15, 16]. Масло АМГ-10 является горючей жидкостью с температурой вспышки в открытом тигле не менее 93 °С и эксплуатируется в интервале температур от –50 до +125 °С в контакте с воздухом или азотом с непродолжительными перегревами до 150 °С [15].

Начиная с 1940-х гг., в ВНИИ НП и ГОСНИИ ГА (г. Москва) проводили отработку технологий изготовления масла АМГ-10. В 1975 г. Миннефтехимпромом СССР был разработан ГОСТ 6794–75, к которому в дальнейшем были выпущены изменения 1–5, и в настоящее время действует ГОСТ 6794–2017. Основные физико-химические характеристики масла АМГ-10 представлены в табл. 3.

В настоящее время состав масла АМГ-10 значительно изменился. Так, до 1970-х гг. серийное масло АМГ-10 изготавливали из дистиллята балаханской нефти. Позже запасы этой нефти резко сократились, в связи с чем она больше не могла являться перспективным сырьем для производства масла АМГ-10. Возникла необходимость исследовать возможность использования исходного сырья с других месторождений, которые обеспечили бы получение требуемых объемов масла АМГ-10 соответствующего качества.

Таблица 3

Основные физико-химические характеристики масла АМГ-10 [15]

Свойства	Значения свойств
Внешний вид	Однородная прозрачная жидкость красного цвета
Плотность при 20 °С, г/см ³ (не более)	0,85
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре, °С: 50 (не менее) –50 (не более)	10 1250
Температура начала кипения, °С (не менее)	210
Температура застывания, °С (не более)	–70
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С (не менее)	93
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла (не более)	0,03
Содержание воды	Отсутствие
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие
Массовая доля механических примесей, % (не более)	0,003
Термоокислительная стабильность и коррозионная активность при температуре 125 °С в течение 100 ч: – вязкость кинематическая после термоокисления при 50 °С, мм ² /с (не менее) – кислотное число после термоокисления, мг КОН на 1 г масла (не более) – весовой показатель коррозии поверхности каждого металла, мг/см ²	9,5 0,15 ±0,1
Качество пленки масла после нагревания его при температуре 65±1 °С в течение 4 ч	Пленка не должна быть твердой и липкой по всей поверхности пластинки
Стабильность вязкости после обработки масла на ультразвуковой установке в течение 50 мин, % (не более)	42
Трибологические характеристики на четырехшариковой машине трения: диаметр пятна износа (D _и) при осевой нагрузке 196 Н и температуре 20±5 °С в течение 1 ч, мм (не более)	0,6

В 1976 г. на Горьковском ОПНМЗ им. 26 Бакинских комиссаров изготовлена опытно-промышленная партия жидкости АМГ-10Б, которая выдержала испытания по определению физико-химических характеристик.

В 1982 г. на Горьковском НМЗ изготовлен образец масла АМГ-10 с использованием антиокислительной присадки (α -нафтол) производства ЧССР. По результатам квалификационных испытаний данный образец масла АМГ-10 соответствовал квалификационным нормам.

В 1987 г. на Горьковском ОПНМЗ изготовлен опытный образец масла АМГ-10 с использованием винипола ВВ-2. Образец не выдержал испытания по комплексу методов квалификационной оценки рабочих жидкостей для гидросистем самолетов.

В 1988 г. изготовлен опытный образец масла АМГ-10 на основе волгоградского сырья. Образец не соответствовал квалификационным нормам.

В 1990 г. с целью замены в составе масла АМГ-10 импортного α -нафтола на отечественную присадку фенил- α -нафтиламин (неозон «А») проведены квалификационные испытания опытного образца масла АМГ-10. Образец выдержал испытания по комплексу методов квалификационной оценки рабочих жидкостей для гидросистем самолетов.

В 1991 г. на Горьковском ОПНМЗ и Волгоградском НПЗ также изготовлены опытно-промышленные партии масла АМГ-10 на волгоградском нефтяном сырье, обе партии прошли квалификационные испытания.

В 1992 г. изготовлена промышленная партия масла АМГ-10, производства фирмы «Варя» (г. Нижний Новгород). По результатам квалификационных испытаний образец соответствовал квалификационным нормам.

С целью расширения производства масла АМГ-10 и обеспечения потребности в нем, в 1993 г. проведены квалификационные испытания опытного образца масла АМГ-10, изготовленного на МОПЗ «Нефтепродукт». Образец выдержал квалификационные испытания.

По данным Федеральной авиационной службы России, в 1998 г. Казахстаном прекращена поставка в Россию основной присадки типа Винипол. Производство основы жидкости АМГ-10 на Волгоградском предприятии также было прекращено, что грозило привести к остановке эксплуатируемого парка воздушных судов.

На ЗАО «АвиаТехМас» в 2000 г. изготовлен опытный образец масла АМГ-10, соответствующего требованиям ГОСТ 6794–75, с заменой производителя загущающей присадки Винипол ВБ-2. В том же году был изготовлен опытно-промышленный образец масла АМГ-10, который выдержал квалификационные испытания.

В 2007 г. ОАО «НК «Роснефть» – МЗ «Нефтепродукт» изготовил опытно-промышленный образец масла АМГ-10, однако данный образец квалификационные испытания не прошел.

Аналогичные результаты были получены при исследовании опытно-промышленного образца, разработанного в ООО «НПП КВАЛИТЕТ» в 2008 г.

В 2009 г. квалификационные испытания успешно прошел образец масла, разработанного в ООО «Лукойл-Волгограднефтепереработка».

В настоящее время предприятия АО «Обнинскоргсинтез», ООО «ЛЛК-Интернешнл» (ПП в г. Волгоград), ООО «Пластнефтехим», АО «НПЦ Спецнефтепродукт» и ООО «Полиэфир» имеют допуск к производству и применению масла АМГ-10 по ГОСТ 6794–2017 [11].

Таким образом, в результате накопленного опыта имеются рабочие составы гидрожидкостей и технологии их изготовления. Все ведущие производители заинтересованы в доработке состава путем введения в него компонентов, производимых на собственных производственных площадях.

Разработка новых российских гидрожидкостей для самолетов

Широко распространенное в отечественных гидросистемах масло АМГ-10 (как и другие гидравлические жидкости с загустителем) при эксплуатации подвергается механической деструкции, а также в процессе работы наблюдается окисление масла под действием кислорода воздуха. Кроме того, в составе АМГ-10 происходит накопление механических примесей в результате истирания уплотнительных резин, механического разрушения защитных покрытий металлов из-за больших скоростей гидравлических потоков, а также других продуктов эксплуатации. Все это постепенно приводит к уменьшению вязкости жидкости (до 42 %) [16], увеличению ее кислотного числа, содержания воды и механических примесей, что вызывает необходимость периодической смены жидкости в системе. К недостаткам жидкости АМГ-10, помимо прочего, можно отнести низкое значение температуры вспышки [16].

Для решения возникающих технологических проблем – как с жидкостью АМГ-10, так и с другими марками продуктов – в настоящее время ведется модификация старых и разработка новых составов гидравлических жидкостей.

Так, специалистами ЗАО «НПЦ Спецнефтепродукт» разработано авиационное синтетическое гидравлическое масло АСГИМ (СТО 07548712-006–2013). Данное масло является аналогом масла АМГ-10 с улучшенными характеристиками по температуре вспышки, определяемой в открытом тигле. Согласно ГОСТ 6794–2017, данный показатель для масла АМГ-10 не должен быть $<93\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как для масла АСГИМ температура вспышки в открытом тигле должна превышать $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Помимо этого, масло АГИСМ является более устойчивым к механической деструкции, имеет повышенную термоокислительную стабильность и пожаровзрывобезопасность [17].

За последнее десятилетие в патентной литературе представлены российские разработки, направленные на улучшение эксплуатационных характеристик гидрожидкостей. В патенте [16] описан состав рабочей жидкости на основе поли- α -олефинов с вязкостью $1,7\text{--}2,0\text{ мм}^2/\text{с}$ и полиалкилсилоксановой жидкости с вязкостью $14\text{--}16\text{ мм}^2/\text{с}$ при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данный состав предложен для улучшения термоокислительной стабильности, вязкостных характеристик в области отрицательных температур, повышения максимальной рабочей температуры эксплуатации масла АМГ-10, а также для использования в гидравлических системах авиационной техники с диапазоном рабочих температур от -60 до $+175\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Синтетические базовые масла позволяют получить высококачественные рабочие жидкости как с повышенной огнестойкостью, так и негорючие [18]. Однако негорючие жидкости на основе сложных эфиров фосфорной кислоты имеют недостаточно высокую температуру вспышки паров: например, не более $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для гидравлической жидкости НГЖ-5у, до $177\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для гидравлической жидкости Skydrol 500В-4, а кроме того, они высокотоксичны. Технической проблемой, решаемой в изобретении [19], является обеспечение безопасной работы гидравлических систем летательных аппаратов во всем диапазоне эксплуатационных температур за счет пожаробезопасности и продление ресурса их работы благодаря высоким смазочным свойствам. Технический результат, обеспечиваемый предлагаемым изобретением, заключается в создании рабочей жидкости, обладающей высокой термоокислительной стабильностью, необходимыми трибологическими и вязкостно-температурными характеристиками, повышенной пожаробезопасностью. Изобретение относится к рабочим гидравлическим жидкостям и может быть использовано в областях техники, требующих применения в гидросистемах рабочих жидкостей с большим диапазоном рабочих температур и обладающих повышенной пожаробезопасностью, в частности, в авиационной технике. Рабочая жидкость для гидравлических систем включает базовую композицию Syntolux L-132, содержащую полиэтилсилоксановую жидкость и сложный эфир дикарбоновой кислоты, а также присадки и высокомолекулярный загуститель. Рабочая жидкость обладает высокой термоокислительной стабильностью, необходимыми трибологическими и вязкостно-температурными характеристиками, повышенной пожаробезопасностью и обеспечивает безопасную работу гидравлических систем летательных аппаратов во всем диапазоне эксплуатационных температур.

Авторы патентов [20, 21] предлагают составы гидравлических жидкостей с повышенной взрывопожаробезопасностью для авиационной техники. Рабочая жидкость из патента [20] должна обеспечивать стабильную работу гидравлических систем в интервале температур от -60 до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$, с улучшенными техническими свойствами.

В патенте [21] описана гидравлическая жидкость, превосходящая ближайший аналог по термоокислительной стабильности (кинематическая вязкость при $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, весовой показатель коррозии, показатель фильтруемости), смазочным свойствам и гидролитической устойчивости (изменение кислотного числа, реакция водного слоя по индикатору и показатель коррозии меди).

Заключения

Применение гидрожидкостей необходимо для осуществления работы дистанционной гидравлической системы управления различными агрегатами самолета. При этом надежность работы гидравлической системы зависит от свойств применяемой рабочей гидрожидкости, к которой предъявляются жесткие требования по вязкостно-температурным свойствам, термоокислительной и химической стабильности, стабильности при высоких динамических нагрузках и пожаробезопасности. С учетом этого исследования и разработки гидрожидкостей направлены на улучшение эксплуатационных характеристик гидроагрегатов.

В России с 1960-х гг. производятся гидрожидкость для самолетов 7-50С-3 и масло АМГ-10, причем с целью сохранения стабильности характеристик и освоения производства на предприятиях СССР, а впоследствии и Российской Федерации велась отработка технологии их производства и доработка состава на собственных производственных мощностях.

В настоящее время в научно-технических статьях и патентной литературе встречаются публикации, посвященные созданию новых составов гидравлических жидкостей для самолетов.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № S. С. 7–17.
2. Бузник В.М., Каблов Е.Н. Состояние и перспективы арктического материаловедения // *Вестник РАН*. 2017. Т. 87. № 9. С. 827–839.
3. Каблов Е.Н. Роль фундаментальных исследований при создании материалов нового поколения // *Тез. докл. XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 6 т.* СПб., 2019. Т. 4. С. 24.
4. Сухотин А.М., Зотиков В.С., Казанкина А.Ф., Лантратова Н.Я., Павлова Г.Л., Парушин Е.Б., Перельштейн И.И., Семерикова И.А. Негорючие теплоносители и гидравлические жидкости: справочное руководство. Л.: Химия, 1979. 235 с.
5. Каблов Е.Н., Кутырев А.Е., Вдовин А.И., Козлов И.А., Афанасьев-Ходыкин А.Н. Исследование возможности возникновения контактной коррозии в паяных соединениях, используемых в конструкции двигателей авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 4 (65). Ст. 01. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 21.12.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-3-13.
6. Ветрова Е.Ю., Щекин В.К., Курс М.Г. Сравнительная оценка методов определения коррозионной агрессивности атмосферы // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 1 (54). С. 74–81. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-1-74-81.
7. Лаптев А.Б., Барботько С.Л., Николаев Е.В. Основные направления исследований сохранности свойств материалов под воздействием климатических и эксплуатационных факторов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.
8. Виноградов С.С., Никифоров А.А., Демин С.А., Чесноков Д.В. Защита от коррозии углеродистых сталей // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 242–263. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-242-263.
9. What Types of Hydraulic Fluids are Used in Aircraft? // Компания Brennaninc: официальный сайт. URL: <https://blog.brennaninc.com/what-types-of-hydraulic-fluids-might-you-find-in-an-aircraft> (дата обращения: 21.12.2021).
10. Aviation hydraulic fluids and preservatives // Компания Shell: офиц. сайт. URL: <https://www.shell.com/business-customers/aviation/aeroshell/aeroshell-hydraulic-fluid.html> (дата обращения: 21.12.2021).

11. МОР-1313500-01–2021. Межотраслевой ограничительный перечень топлив, масел, смазок, специальных жидкостей, консервационных материалов и присадок, разрешенных к применению в вооружении, военной и специальной технике / ФАУ «25 Госнии Химмотологии Минобороны России». М., 2021. С. 46–50. URL: <https://ens.mil.ru/files/МОР-2021.pdf> (дата обращения: 21.12.2021).
12. РТМ Ц2–2009. Перечень зарубежных горюче-смазочных материалов, рекомендованных к применению на авиатехнике отечественного производства. 8-е изд. М.: ЦИАМ, 2009. 17 с.
13. ГОСТ 20734–75. Жидкость рабочая 7-50С-3. Технические условия. М.: Госстандарт СССР, 1975. 4 с.
14. Междуведомственная нормаль НВ3-71. Масла, смазки, специальные жидкости для объектов ВВС. М.: ВНИИКИ, 1971. С. 52–54.
15. ГОСТ 6794–2017. Масло АМГ-10. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 14 с.
16. Рабочая жидкость для гидравлических систем авиационной техники: пат. 2347803 Рос. Федерация; заявл. 16.11.07; опубл. 27.02.09.
17. Масло авиационное синтетическое гидравлическое АСГИМ // Компания «Спецнефтьпродукт»: офиц. сайт. URL: <http://snp-gsm.ru/products/asgim/> (дата обращения: 19.04.2022).
18. Yanovskii L.S., Ezhov V.M., Molokanov A.A. et al. A synthetic aviation hydraulic fluid of new generation // *Russian Aeronautics*. 2014. Vol. 57 (2). P. 193–197. DOI: 10.3103/S1068799814020147.
19. Рабочая жидкость для гидравлических систем: пат. 2659393 Рос. Федерация; заявл. 24.11.17; опубл. 02.07.18.
20. Смазочная композиция негорючей рабочей жидкости для авиационной техники: пат. 2476586С2 Рос. Федерация; заявл. 12.11.10; опубл. 27.02.13.
21. Взрывопожаробезопасная рабочая жидкость: пат. 2547729С2 Рос. Федерация; заявл. 03.06.13; опубл. 10.04.15.

References

1. Kablov E.N. The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period to 2030. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 7–17.
2. Buznik V.M., Kablov E.N. State and prospects of Arctic materials science. *Vestnik RAN*, 2017, vol. 87, no. 9, pp. 827–839.
3. Kablov E.N. The role of fundamental research in the creation of new generation materials. *Tez. report XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 6 vols. St. Petersburg, 2019, vol. 4, pp. 24.
4. Sukhotin A.M., Zotikov V.S., Kazankina A.F. et al. *Non-flammable coolants and hydraulic fluids*: reference guide. Leningrad: Khimiya, 1979, 235 p.
5. Kablov E.N., Kutyrev A.E., Vdovin A.I., Kozlov I.A., Afanasyev-Khodykin A.N. The research of possibility of galvanic corrosion in brazed connections used in aviation engine construction. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), paper no. 01. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 21, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-3-13.
6. Vetrova E.Yu., Shchekin V.K., Kurs M.G. Comparative evaluation of methods for the determination of corrosion aggressivity of the atmosphere. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 1 (54), pp. 74–81. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-1-74-81.
7. Laptsev A.B., Barbotko S.L., Nikolaev E.V. The main research areas of the persistence properties of materials under the influence of climatic and operational factors. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.
8. Vinogradov S.S., Nikiforov A.A., Demin S.A., Chesnokov D.V. Protection against corrosion of carbon steel. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 242–263. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-242-263.
9. *What Types of Hydraulic Fluids are Used in Aircraft?* Available at: <https://blog.brennaninc.com/what-types-of-hydraulic-fluids-might-you-find-in-an-aircraft> (accessed: December 12, 2021).
10. *Aviation hydraulic fluids and preservatives*. Available at: <https://www.shell.com/business-customers/aviation/aeroshell/aeroshell-hydraulic-fluid.html> (accessed: December 12, 2021).

11. МОР-1313500-01–2021. *Cross-industry restrictive list of fuels, oils, lubricants, special liquids, preservative materials and additives permitted for use in weapons, military and special equipment*: Moscow, 2021, pp. 46–50. Available at: <https://ens.mil.ru/files/MOP-2021.pdf> (accessed: December 12, 2021).
12. RTM Ts2–2009. *List of foreign fuels and lubricants recommended for use in domestic aircraft*. 8th ed. Moscow: TsIAM, 2009, p. 17.
13. State Standard 20734–75. *Fluid working 7-50S-3*. Specifications. Moscow: Gosstandart of the USSR, 1975, 4 p.
14. Interdepartmental standard NVZ-71. *Oils, lubricants, special fluids for Air Force facilities*. Moscow: VNIKI, 1971, pp. 52–54.
15. State Standard 6794–2017. *Oil AMG-10*. Specifications. Moscow: Standartinform, 2019, 14 p.
16. *Working fluid for hydraulic systems of aviation equipment*: pat. 2347803 Rus. Federation; filed 16.11.07; publ. 27.02.09.
17. *Aviation synthetic hydraulic oil ASGIM*. Available at: <http://snp-gsm.ru/products/asgim/> (accessed: April 19, 2022).
18. Yanovskii L.S., Ezhov V.M., Molokanov A.A. et al. A synthetic aviation hydraulic fluid of new generation. *Russian Aeronautics*. 2014, vol. 57(2), pp. 193–197. DOI: 10.3103/S1068799814020147.
19. *Working fluid for hydraulic systems*: pat. 2659393 Rus. Federation; filed 24.11.17; publ. 02.07.18.
20. *Lubricating composition of a non-flammable working fluid for aviation equipment*: pat. 2476586C2 Rus. Federation; filed 12.11.10; publ. 27.02.13.
21. *Explosion and fireproof working fluid*: pat 2547729C2 Rus. Federation; filed 03.06.13; publ. 10.04.15.

Информация об авторах

Седова Лариса Степановна, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Долгова Елена Владимировна, заместитель начальника лаборатории по науке, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Larisa S. Sedova, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Elena V. Dolgova, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 15.02.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 25.02.2022.

The article was submitted 15.02.2022; approved and accepted for publication after reviewing 25.02.2022.